

論文題目

Flow-dynamics assessment of mitral-valve surgery by intraoperative vector flow mapping.

論文内容の要旨

近年、超音波診断装置による心臓血管系の血流可視化技術が進歩し、心臓左心室内に形成される渦血流の評価が可能となってきた。健常な左心室においては、拡張期から等容性収縮期までの間に、僧帽弁前尖の下に血流の渦が形成される。この心室内の渦形成が、血流のエネルギー損失を低くして運動エネルギーを保つことに役立ち、さらには左心房から左心室に拡張期血流を引き込み、収縮期に効率よく左心室から大動脈へ血液を駆出していることに寄与していると考えられる。一方、僧帽弁置換手術後にはこの左心室内の血流渦巻きが逆向きになることが報告されている。そこで、本研究では、全身麻酔下で僧帽弁手術を受ける患者を対象に、超音波診断装置を用いた術中経食道心臓超音波診断での血流可視化技術である

Vector Flow Mapping を用いて、左心室内に形成される血流の渦とエネルギー損失の違いについて解析を行った。2015 年 2 月から 2016 年 6 月の間に、重度僧帽弁逆流症で僧帽弁手術を受けた 32 例を解析対象とした。その内訳として僧帽弁形成術 15 例と僧帽弁置換術 17 例が含まれ、その 2 群を対照比較する検討を行った（そのうち僧帽弁形成術 3 例と僧帽弁置換術 4 例において、超音波診断画像画質の問題でエネルギー損失値の解析からを除外症例とした）。経食道心臓超音波診断を用いて、中部食道長軸像で拡張期の左心室内渦が健常人と同じ反時計回りの渦を正常（normal pattern）とし、逆回転の時計回りの渦を異常（abnormal pattern）とした。また、術後の一心周期平均エネルギー損失値を術前の一心周期平均エネルギー損失値で割ったものを Energy Loss Change (ELC) とした。さらに、中部食道長軸像の拡張早期における術前の僧帽弁輪と左室中部前壁中隔のなす角度を mitral-septal angle と定義した。これらの結果から、術後渦パターンと術式の関係、ELC と術式の関係、そして術後渦パターンと mitral-septal angle の関係を統計解析した。また、術後渦パターンと形成術のリングサイズの関係、ELC と形成術のリングサイズの関係、渦パターンと僧帽弁置換術の人工弁サイズの関係、ELC と僧帽弁置換術の人工弁サイズの関係、そして ELC と僧帽弁の弁尖の切除の有無の関係を統計解析した。統計解析には JMP ソフトウェア (version 12.0.1 for Macintosh from SAS) を使用し、連続変数は mean ± SD で表示し、Welch's t-test と Wilcoxon rank

sum test を行った。名義変数に関しては Fisher's 2-tailed exact test で比較した。2 種類の連続変数の相関関係は Spearman's rank correlation で評価した。 $p$  値は 0.05 未満で有意差ありと判定した。

解析の結果、術前の左心室内血流の渦については、対象32症例の全症例が正常パターンを示した。僧帽弁形成術後では15 例中13 例が正常パターンを示し、2 例が異常パターンを示した。僧帽弁置換術後は、1 例が正常パターン、16 例が異常パターンを示した。つまり、僧帽弁置換術後には左心室内血流の渦が有意に異常パターンになることが示された ( $p < 0.0001$ )。ELC は僧帽弁置換術後に有意に高かった ( $196.6 \pm 180.8$ ;  $71.9 \pm 43.9$ ,  $p = 0.009$ )。mitral-septal angle に関しては、僧帽弁形成術では異常パターン群で有意に低値を示し ( $67.5 \pm 3.5^\circ$ ;  $79.2 \pm 3.4^\circ$ ,  $p = 0.019$ )、僧帽弁置換術では有意差は無かった ( $75.3 \pm 5.9^\circ$ ;  $90^\circ$ ,  $p = 0.083$ )。僧帽弁形成術のリングサイズの渦パターンへの影響に有意差は無く (正常パターン  $31.0 \pm 1.4\text{mm}$ ; 異常パターン  $30.2 \pm 2.5\text{ mm}$ ,  $p = 0.723$ )、リングサイズと ELC の間に相関は無かった ( $\rho = -0.380$ ,  $p = 0.223$ )。僧帽弁置換術の人工弁サイズの渦パターンへの影響に有意差は無く (正常パターン  $33\text{ mm}$ ; 異常パターン  $28.8 \pm 1.3\text{mm}$ ,  $p = 0.075$ )、人工弁サイズと ELC の間に相関は無かった ( $\rho = 0.222$ ,  $p = 0.467$ )。また、僧帽弁形成術において僧帽弁弁尖を切除するか温存するか (resect or respect) については ELC に有意差は無かった ( $80.4 \pm 56.3$ ;  $53.8 \pm 28.4$ ,  $p = 0.417$ )。

本研究では、左心室内に形成される血流の渦の解析から、僧帽弁置換術と比較して、僧帽弁形成術では左心室内渦血流の向きが生理的な状態と変わらず、エネルギー損失が低くなることが示された。僧帽弁置換術より、僧帽弁形成術の方が短期予後、長期予後ともに優れていることは知られているもの、これまでその機序ははっきりと解明されていなかった。本研究で示された渦血流の変化が予後に関わる原因のひとつであると考えられる。僧帽弁形成術においては mitral-septal angle が  $70^\circ$  以下であることが渦の向きを変える risk factor であると考えられた。心臓左心室内血流における渦形成の生理的意義について、心臓超音波診断での血流可視化技術である Vector Flow Mapping を用いた実測値に基づいた詳細な定量的血流解析により、僧帽弁置換術ではエネルギー損失が大きくなることとその原因を解明できた。